



UN SIGLO DE TRANSFORMACIÓN SOCIAL A TRAVÉS DE LA FÍSICA

PABLO MARTEL ESCOBAR, JUAN MIGUEL GIL DE LA FE,
JESÚS GARCÍA RUBIANO, RAFAEL RODRÍGUEZ PÉREZ,
RICARDO FLORIDO HERNÁNDEZ

Departamento de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

El pasado siglo XX ha sido testigo de dos revoluciones fundamentales en la interpretación del mundo físico que nos rodea. Una de ellas –denominada Teoría de la Relatividad– está relacionada con nuestra visión de conceptos tan fundamentales como el espacio y el tiempo, que durante siglos habían sido considerados entes absolutos e independientes, y que a partir de entonces, se combinaron en un único concepto que ahora se denomina espacio-tiempo. La geometría de este espacio-tiempo resulta ser, además, el origen del familiar concepto de gravedad. La segunda revolución –que conocemos con el nombre de Teoría Cuántica– ha tenido lugar a escala atómica y ha variado notablemente las ideas que se tenían sobre materia y radia-

ción, ya que los entes a esta escala pueden manifestarse de forma dual con características bien ondulatorias o bien corpusculares. Además, las medidas físicas habituales vendrán siempre afectadas de unas incertidumbres que son independientes de los instrumentos de medida y que dan lugar a una variedad de fenómenos que no tienen análogos en la física clásica. Ambas teorías han sido confirmadas experimentalmente con una precisión extraordinaria, y ambas (aunque quizás de forma más acusada la teoría cuántica) han sido responsables del extraordinario salto tecnológico que ha llevado a cabo la humanidad en los últimos 100 años.

Un año clave para estas revoluciones del pensamiento fue 1905, año en que el eminente físico alemán Albert Einstein publicó cinco de sus contribuciones más importantes a la ciencia moderna en la prestigiosa revista alemana *Annalen der Physik*. De hecho, este año es llamado el *annus mirabilis* de Einstein, utilizando la expresión latina con la que se denominó también al año 1666, durante el cual Isaac Newton sentó las bases de gran parte de la física y las matemáticas que revolucionaron la ciencia del siglo XVII. Esta denominación común no es casual, ya que la revolución llevada a cabo por Einstein en la física del siglo XX es comparable a la del propio Newton, del que, en cierto sentido, puede considerarse sucesor.

La temática de estos trabajos abarcaba muchos campos de la física y en todos ellos se introducían avances sustanciales. Un trabajo propone un método para la determinación de las dimensiones moleculares; otro explica un fenómeno característico de las partículas suspendidas en un líquido que se denomina movimiento browniano¹; dos están dedicados a la electrodinámica de los cuerpos en movimiento; y el quinto argumenta que, en cierto sentido, se debía retomar la idea (newtoniana) de que la luz tenía naturaleza corpuscular, precisamente cuando ya se daba por demostrado su carácter ondulatorio. Resulta interesante la valoración que de cuatro de estos trabajos hace el propio Albert Einstein en mayo de 1905 en una carta dirigida a su compañero de la Akademie Olimpia Conrad Habicht:

Querido Habicht [...] te prometo cuatro trabajos [...] de los cuales te podría enviar enseguida el primero, ya que recibiré

¹ El movimiento browniano es el movimiento aparentemente caótico que cualquier partícula de tamaño pequeño experimenta en el agua o en un gas. Este movimiento fue descubierto por el botánico inglés Robert Brown (1773-1858) en 1827 durante sus investigaciones sobre el polen de las plantas.

muy pronto las separatas. Trata de la radiación y de las propiedades energéticas de la luz, y es muy revolucionario, como tu verás [...]. El segundo artículo consiste en una determinación del tamaño verdadero de los átomos a partir de la difusión y la viscosidad de disoluciones diluidas de sustancias neutras. El tercero demuestra que, sobre la hipótesis de la teoría molecular del calor, cuerpos de un tamaño del orden de 1/1000 mm. suspendidos en líquidos ya deben ejecutar un movimiento aleatorio observable que es debido al movimiento térmico; de hecho, los fisiólogos han observado, efectivamente, el movimiento de cuerpos pequeños e inanimados en suspensión al que denominan 'movimiento molecular browniano'. El cuarto artículo es tan sólo un borrador en este momento, y es una electrodinámica de los cuerpos en movimiento, que emplea una modificación de la teoría del espacio y el tiempo; La parte puramente cinemática de este artículo seguramente te interesará.

Einstein valora el quinto artículo en una carta posterior de la siguiente forma:

También se me ha ocurrido otra consecuencia del artículo sobre electrodinámica: el principio de relatividad, en combinación con las ecuaciones de Maxwell, requiere que una masa sea una medida directa de la energía contenida en un cuerpo; la luz transporta masa [...]. El argumento es divertido y seductor; pero por lo que yo se, todo podría ser una broma del Señor que me está manejando a su antojo.

Tres de los cinco trabajos citados serían origen de la revolución conceptual de la física que hemos comentado, sacándola del nivel sensorial macroscópico en el que estaba, obligando al replanteamiento de muchos conceptos elementales que se aceptaban sin juicio crítico alguno y dando lugar a una visión más unificada de la realidad objeto de estudio. Los dos "sobre electrodinámica de los cuerpos en movimiento" contienen las ecuaciones básicas de la teoría de la relatividad especial, que, como hemos dicho, llevaron a la revisión de conceptos tan básicos como la relación entre el espacio y el tiempo, entre la masa y el momento lineal, o entre la masa y la energía.

El tercer artículo al que nos referimos, denominado "Sobre un punto de vista heurístico relativo a la creación y conversión de la luz", es considerado por muchos científicos de relevancia (incluido el propio Einstein) el más fundamental de todos. Está dedicado al estudio de la naturaleza de la radiación electromagnética y es precursor de la mecánica cuántica, teoría alternativa a la clásica, vigente y efectiva explicación de la realidad física. El nacimiento de esta teoría es también clave en el cambio conceptual aludido, pues induce a una revisión de nociones tan elementales como las de continuidad y causalidad, o las de localización y extensión a escala microscópica, o si se prefiere, de la realidad descrita por partículas o por campos (propiedad física detectable en una cierta región del espacio que en general varía con el tiempo y que, cuando evoluciona según la denominada ecuación de ondas, recibe el nombre de onda).

Einstein, con la teoría de la relatividad, formula, en opinión de diversos físicos, la última de las grandes leyes del mundo clásico, y a la vez, con su interpretación de la naturaleza de la luz, pone los cimientos del nuevo esquema interpretativo de la realidad física. Por esto es quizás uno de los científicos más importantes de todos los tiempos, cuyos trabajos están al alcance de pocos, pero cuya figura como fenómeno mediático, a través de la publicidad, del cine, de la tele, de los libros, de los muñecos, de los pósteres, de las camisetas, etc. ha convertido al científico, la ecuación $E=mc^2$ y la relatividad en iconos sociales, lo que probablemente haya eclipsado, fuera del mundo de la física, el verdadero alcance de su interpretación de la luz, principal causa por la que recibió el Nobel en 1921. Sin embargo, Albert Einstein es uno de los principales fundadores de la teoría cuántica, a la que dedicó mucho tiempo y esfuerzo. El propio Einstein llegó a decir alguna vez a su amigo Otto Stern: "*He pensado cien veces más sobre los problemas cuánticos que sobre la teoría general de la relatividad*". En lo que sigue analizaremos el papel del alemán como padre de la mecánica cuántica y la transformación social que esta disciplina ha originado.

Los últimos años del siglo XIX y primeros del XX fueron testigos de diversos fracasos en la explicación de una serie de fenómenos a partir de las leyes de la física clásica, donde los elementos de la naturaleza se interpretaban como partículas para representar la materia y sus constituyentes, o como campos, a la hora de describir las interacciones entre las partículas (el campo gravitatorio o el elec-

tromagnético), los fenómenos ondulatorios (la luz o el sonido) o ciertas propiedades asociadas a regiones del espacio (la temperatura o la presión de la atmósfera). Entonces llegó el año 1905, y llegó Einstein, y puso en tela de juicio esta concepción de la naturaleza al postular que la luz, de modo similar a como la materia está compuesta por átomos, lo está de pequeñas partículas de energía (los fotones), las cuales son absorbidas o emitidas por los cuerpos en su totalidad. *“Cuando un rayo de luz se propaga a partir de un punto, la energía no se distribuye continuamente en un volumen creciente, sino que consiste en un cierto número de cuantos de energía, localizados espacialmente, que se mueven sin dividirse y que pueden ser absorbidos o emitidos como un todo”*, escribía el genial físico en el trabajo del que venimos hablando.

En definitiva propuso dos ideas novedosas: un comportamiento dual para la luz, que se describe como un campo (como una onda electromagnética) cuando se propaga en el espacio, y como partículas cuando interacciona con la materia; y, en segundo lugar, una cuantización de la energía de estos fotones. Además, desde dichos supuestos logra interpretar con éxito varios fenómenos no explicados hasta entonces, como el de fluorescencia, el de ionización de gases por luz ultravioleta y el efecto fotoeléctrico.

¡Einstein había roto la imagen clásica de la naturaleza!, pero quedaba todavía un largo camino por recorrer hasta establecer la nueva imagen de la realidad física. Así, en 1913 el danés Niels Bohr publicó su teoría atómica, en donde asumía la cuantización de la energía y otras propiedades para explicar la estructura y el comportamiento de los átomos; y en 1924 el francés Louis de Broglie postuló el comportamiento dual también para las partículas materiales. Fue en 1926 cuando, de manera independiente, el austriaco Erwin Shrodinger y el alemán Werner Heisenberg formularon la mecánica cuántica ondulatoria y la mecánica cuántica matricial, respectivamente, ambas equivalentes como se demostraría posteriormente. El cambio conceptual es profundo, pues ahora la información sobre el sistema, pensemos por ejemplo en un electrón, no está en su trayectoria, en su velocidad o en su aceleración –propiedades todavía utilizadas por Einstein o Bohr en sus explicaciones– sino en la denominada función de onda (o más precisamente, siguiendo al profesor Marcelo Alonso, campo de materia), cuya evolución está gobernada por la ecuación de Schrödinger.

La interpretación de la función de onda ha dado lugar a uno de los episodios más interesantes de la historia de la física, donde la fructífera lucha dialéctica que mantuvieron Einstein y Bohr, con posiciones encontradas, representó un papel destacado. Aunque se trata de una cuestión que sigue estando de plena actualidad, aquí nos centraremos en la concepción estadística defendida por Bohr, que si bien fue asumida por un gran número de físicos, también fue denostada por otros tantos. En esta interpretación la función de onda de un electrón, por ejemplo, proporciona para cada instante de tiempo la probabilidad de encontrar a éste en cada punto del espacio. Cuando la probabilidad es cero excepto para puntos muy cercanos entre sí, hablamos de localización o comportamiento tipo partícula, mientras que cuando esta probabilidad es no nula en una amplia porción del espacio, hablamos de extensión o comportamiento tipo campo. Bohr, además, añade que la función de onda no sólo tiene en cuenta el sistema objeto de estudio (el electrón en nuestro ejemplo), sino también a los observadores (aparatos de medida) y las interacciones entre los observadores y el sistema. Estos tres elementos (sistema, observador, interacción) definen un fenómeno, el cual constituye el nivel más elemental al que tenemos acceso experimental y del que da cuenta la función de onda. Con esta interpretación, el fenómeno, y no el sistema, es el que posee naturaleza tipo campo o tipo partícula, lo que permite explicar que un mismo sistema forme parte de fenómenos de distinta naturaleza (complementariedad). Sin embargo, paradojas de la vida, siendo Einstein un personaje trascendental en la historia que estamos contando, nunca creyó esta interpretación probabilística de la función de onda. La pérdida de aspectos tan arraigados en la teoría clásica como el determinismo y la causalidad de los fenómenos a los que llevó dicha interpretación, fueron motivos de peso. Su postura quedó reflejada para la posteridad en la célebre frase *"Dios no juega a los dados con el Universo"*.

Las aportaciones de Einstein al desarrollo de la física cuántica no acaban con lo expuesto. Su teoría de la relatividad especial es ingrediente básico en el estudio de los fenómenos cuánticos en los que las velocidades características son cercanas a la de la luz. La combinación de estas dos teorías seculares (cuántica y relatividad especial) dio lugar a la electrodinámica cuántica, que contó con el inglés Paul Dirac como precursor y con el americano Richard Feynman como principal responsable de su formalización actual. Sin embargo, na-

die ha sido capaz aún de lograr una formulación compatible entre la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad general que formulara también el gran científico en 1917.

Hoy muchas son las líneas abiertas tendentes a proporcionar una descripción completa y satisfactoria de la naturaleza que resuelva los problemas planteados en la actualidad, pero en lo que no hay discrepancias es en considerar la física cuántica como la base en la que se sustenta una gran parte de los avances tecnológicos del siglo XX y principios del XXI. Una consecuencia directa de la mecánica cuántica ha sido el desarrollo espectacular de la electrónica en los últimos 80 años. Gracias a un conocimiento cada vez más profundo de la estructura de la materia, ha sido posible construir dispositivos electrónicos cada vez más pequeños y más eficientes. Así, durante los años treinta y cuarenta la electrónica estaba dominada por las válvulas de vacío, que eran dispositivos que se basaban en la capacidad de crear (mediante el efecto termoiónico) y controlar flujos de electrones libres en el vacío mediante campos eléctricos y magnéticos. A pesar de que estas válvulas de vacío eran muy grandes, poco fiables y consumían mucha energía, dieron lugar a numerosas aplicaciones, como los receptores y generadores de radio, la televisión, el radar, e incluso el primer ordenador totalmente electrónico, el ENIAC, que contenía 18.000 tubos de vacío, ocupaba 130 metros cuadrados y consumía 130.000 vatios. No obstante, su capacidad de cálculo era muy inferior a la de cualquier calculadora de bolsillo actual.

A medida que la mecánica cuántica proporcionaba un mejor conocimiento de la física del estado sólido se fueron desarrollando dispositivos más eficientes. En 1949, un equipo de investigadores de la Bell Telephone Laboratories, compuesto por J. Bardeen, W.H. Brattain y W.B.S. Shockley, anunció que había conseguido la amplificación de señales eléctricas mediante un dispositivo de estado sólido: el transistor de puntas de contacto. El transistor es un dispositivo construido con materiales semiconductores² que realiza las mismas funciones que las válvulas de vacío pero es de mucho menor tamaño, y se puede considerar una consecuencia directa de la mecánica cuántica, ya que sin ella no hubiera podido ser ideado. El

² Los materiales semiconductores son sustancias que presentan un comportamiento eléctrico intermedio entre los conductores y los aislantes. Son la base de la electrónica actual.

descubrimiento del transistor supuso un salto en la miniaturización y fiabilidad de los componentes electrónicos, que recibió un nuevo empuje con el desarrollo por Jack Kilby y Robert Noyce del circuito integrado, que permitía montar varios transistores en un solo bloque de material semiconductor. En las últimas décadas el avance ha sido tan espectacular que del par de transistores que se podían integrar en los años cincuenta, en la actualidad se consiguen integrar varios millones. Todos estos avances han hecho posible el gran desarrollo de la informática que hemos percibido en los últimos años y que ha transformado nuestra manera de trabajar, de divertirnos, de relacionarnos e incluso de aprender e investigar. En este sentido nuestra sociedad actual se puede considerar, también, una consecuencia de los avances en la física cuántica.

Pero no sólo en la electrónica encontramos avances cuyo origen está en la mecánica cuántica. La medicina, por ejemplo, utiliza en la actualidad numerosos dispositivos cuánticos. Estamos acostumbrados a hablar de cirugía láser y el láser es un dispositivo cuyo fundamento –la emisión coherente de ondas electromagnéticas en el espectro visible o ultravioleta– es básicamente cuántico. Además, la medicina nuclear utiliza muchos elementos desarrollados a partir de la cuántica tanto para el diagnóstico (aparatos de rayos X, tomografía, resonancia magnética nuclear, RIA) como para el tratamiento (aceleradores lineales, radioterapia).

Otra de las contribuciones de la física cuántica a la sociedad actual es la energía nuclear. Bajo el nombre de energía nuclear englobamos todas las formas de aprovechamiento de la energía de cohesión de los núcleos atómicos para obtener otra forma de energía aprovechable, en general eléctrica. En la práctica se distinguen dos formas de extraer la energía de los núcleos: la fisión nuclear, que es una reacción en la que se produce la división del núcleo de un elemento pesado en otros más ligeros, y el proceso contrario –la fusión nuclear– que consiste en la unión de núcleos de elementos ligeros para formar uno más pesado. En ambos casos, como consecuencia del proceso, se produce una pérdida de masa respecto a la situación inicial que se convierte en energía según la conocida ley de Einstein $E=mc^2$. Esta energía aparece finalmente como energía térmica que puede aprovecharse tal y como se hace en las centrales eléctricas convencionales.

Aunque la energía nuclear de fisión tiene connotaciones negativas para la mayor parte de las personas no familiarizadas con la misma (quizás porque su “carta de presentación” fue la bomba de Hiroshima), esta fuente de energía representa casi el 30% de la energía eléctrica producida en España y es el origen de más de un tercio de la producción de electricidad que se consume en el mundo. La energía nuclear de fisión tuvo un desarrollo vertiginoso en las décadas de los cincuenta y sesenta, en las que se desarrolló gran parte de la energía y se puso en marcha una gran cantidad de reactores. En las décadas de los setenta y ochenta esta carrera se interrumpió cuando comenzó a surgir el movimiento antinuclear como consecuencia de algunos accidentes que tuvieron un fuerte impacto en la opinión pública. Esto provocó una fuerte desaceleración de los programas nucleares de muchas naciones. Sin embargo, en la década de los noventa se comenzó a tener noticias del calentamiento paulatino del planeta debido al efecto invernadero provocado por la emisión de gases contaminantes, hecho que ha llevado a muchos países (entre los que se encuentra España) a firmar el protocolo de Kyoto en el que se comprometían a reducir su emisión de gases de efecto invernadero. Una de las ventajas de las centrales nucleares de fisión es su nula emisión de este tipo de gases. Este hecho, junto con los avances en seguridad y eficiencia que presentan los nuevos diseños nucleares, ha llevado a muchos países a replantearse la moratoria nuclear o incluso sus planes de abandono para poder cumplir los compromisos de Kyoto. Por otro lado, la fusión de átomos ligeros tiene la capacidad de proporcionar una fuente de energía inagotable a la humanidad, aunque su desarrollo presenta, todavía, extraordinarios retos científicos y tecnológicos.

En este sentido, uno de los primeros físicos de nuestro país, el profesor Francisco Ynduráin, cuando escribía sobre los desafíos futuros de la física, apuntaba:

Desgraciadamente, la energía nuclear presenta problemas. La que utiliza la fisión del uranio produce residuos muy peligrosos; la que utiliza la fusión del hidrógeno, que sería limpia, no se ha podido aún liberar excepto en forma explosiva. Un reto nada trivial de la física para 2005 y para los próximos años es el hacer la energía de fisión menos contaminante (por ejemplo, desarrollando un método seguro de neutralizar los productos radiactivos) o el conseguir que funcione, de forma

controlada, un proceso de fusión. El que esto escribe es poco optimista con respecto a lo segundo, y moderadamente optimista con respecto a lo primero, aunque probablemente el proceso llevará bastantes años.

Además de estas importantes aplicaciones en la producción de energía, en la industria se utilizan técnicas nucleares en todos los campos. Así, se usan para realizar ensayos no destructivos de materiales (por ejemplo gammagrafía de soldaduras), detección de humedades, sistemas de control de procesos, control de plagas en la agricultura, trazadores, etc.

Para finalizar, y a modo de curiosidad, comentaremos que el conocido sistema de satélite GPS (Global Positioning System) se basa en la sincronía de la información enviada por el sistema de satélites. Para ello utiliza un reloj atómico (sistema basado en la mecánica cuántica), y para que sea exacto se debe corregir la sincronía con cálculos basados en la teoría de la relatividad.

Lo anterior es sólo una pequeña muestra de la variedad de aplicaciones que la revolución de la física de principios del siglo XX ha permitido desarrollar. Y pensemos también en lo que está por desarrollarse a partir del estudio de, por ejemplo, los dispositivos optoelectrónicos y fotónicos, las nanoestructuras o los estados cuánticos entrelazados, que, entre otras cosas, auguran mejoras asombrosas de los actuales ordenadores.

No queremos terminar estas líneas sin recordar que este año celebramos el centenario de aquel milagroso 1905, por lo que la ONU lo ha designado *Año Mundial de la Física*. Por idénticos motivos, Alemania, país natal del científico, ha declarado 2005 *Año de Einstein* y se propone destinar un fondo específico para la I+D. Con ello piensan los gobernantes e industriales teutones aprovechar la fama y los logros de su paisano para fomentar en la juventud el interés por la ciencia y la investigación y, a la vez, impulsar el crecimiento económico del país. Además, han programado diversas actividades dirigidas a los estudiantes de los primeros niveles de la enseñanza al objeto de inducir en ellos un cambio en la forma de pensar que favorezca la aparición de vocaciones científicas.

En nuestro país, la Real Sociedad Española de Física (en colaboración con universidades, organismos públicos de investigación, museos de la ciencia y fundaciones culturales de todo el país) ha

preparado un completo programa de actividades. El solemne acto de apertura se realizó el 11 febrero en el Congreso de los Diputados, donde varios físicos relevantes tanto nacionales como internacionales presentaron algunos grandes logros de la física, los problemas abiertos y los problemas específicos de su desarrollo en España. El cierre del año será en diciembre en el Senado con un formato muy similar. A lo largo de todo el año se van a celebrar exposiciones, conferencias y congresos científicos en todo el territorio nacional que pretenden acercar la física al gran público. Además está programada la edición de un gran número de publicaciones relacionadas con esta disciplina.

En Canarias, el Departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) es, junto a otras organizaciones (Universidad de La Laguna, Museo Elder de la Ciencia y la Tecnología, Asociación Canaria de Profesores de Física y Química...), organizador de los eventos conmemorativos del Año Mundial de la Física a nivel regional. A lo largo del año se han programado ciclos de conferencias científicas, artículos en prensa, charlas y concursos científicos en los centros de secundaria, visitas escolares a los centros superiores de formación en física, ciclos de cine científico y la realización de unas jornadas para discutir la situación de la física en Canarias.

Entre estas actividades se incluye la solicitud del Doctorado Honoris Causa para el profesor Blas Cabrera Navarro (que ya ha sido aprobado por el Consejo de Gobierno de la ULPGC). Un primer motivo para esta propuesta (y que en sí mismo consideramos suficiente) es que el profesor Cabrera es un físico de relevancia mundial por su trabajo en astrofísica y física de la materia condensada que se ha plasmado en más de cien publicaciones en las más prestigiosas revistas científicas internacionales, así como en numerosas monografías científicas y conferencias especializadas. Existe, no obstante, una segunda razón –a nuestro juicio también relevante– para esta propuesta, y es que el profesor Cabrera no es ajeno a nuestro país ni a nuestra región, ya que es nieto del físico canario Blas Cabrera Felipe³, considerado por muchos como el padre de la física española y el primer promotor de la internacionalización de la investigación científica en nuestro país. Blas Cabrera Felipe, nacido en Arrecife y

³ Blas Cabrera Navarro, nieto de Blas Cabrera Felipe a través de Nicolás Cabrera Sánchez, que fue catedrático de física en la Universidad Autónoma de Madrid.

educado entre La Laguna y Madrid, alcanzaría las más altas responsabilidades científicas españolas entre 1925 y 1936. Magnífico físico experimental, su capacidad investigadora, reflejada en sus trabajos científicos, muy centrados en las propiedades magnéticas de la materia, le llevaron a situarse entre las mayores personalidades de la explosión de la física moderna de principios del siglo XX (lo que precisamente se quiere conmemorar en este Año Mundial de la Física). Estas relaciones le llevaron a ser anfitrión de Albert Einstein en su visita a España en 1923, tal y como muestra la magnífica exposición que al respecto ha preparado el Museo Elder de la Ciencia y la Tecnología de Las Palmas de Gran Canaria, que, dicho sea de paso, es una de las organizaciones que apoyan la candidatura.

Todas estas actividades programadas para el Año Mundial de la Física son, además, muy pertinentes, porque en los últimos años los profesionales de la física han comenzado a dar la voz de alarma sobre la disminución de la valoración de esta disciplina (y en el fondo de todas las ciencias fundamentales) por la sociedad en general y en particular por los estudiantes. La física ha perdido peso en los planes de estudio de secundaria dejando paso a materias que se consideran "más aplicadas" y de menor dificultad conceptual, pero que tienden a proporcionar sólo habilidades instrumentales inmediatas más que conocimientos perdurables y aplicables en cualquier situación. Hoy, tristemente, se prefiere "saber hacer" sin saber el fundamento de lo que se hace.

Esta excesiva practicidad y este gusto por lo inmediato son letales para cualquier sociedad que pretenda basar su crecimiento en la innovación y la tecnología, que, a nuestro juicio, es precisamente el camino que hay que seguir si España en general y Canarias en particular quieren estar situadas entre las regiones más desarrolladas del mundo. Si no cultivamos la investigación científica, estaremos condenados a ser cada vez más un mero país de servicios, dependiente de los avances científicos (y de la tecnología derivada de ellos) que se realicen en otros lugares que, con más acertado juicio, hayan preferido invertir en el excelente valor a largo plazo que es la física.

BIBLIOGRAFÍA

- SACHEL, John (ed.). *Einstein 1905: un año milagroso*. Barcelona: Editorial Crítica, 1998.
- FISCHER, Ernst Meter. *Einstein y Cia.: La ciencia moderna a través de sus protagonistas*. Madrid: Alianza Editorial, 2000.
- PAIS, Abraham. "El señor es sutil...": la ciencia y la vida de Albert Einstein. Barcelona: Ariel, 1984.
- SÁNCHEZ RON, José Manuel. *El origen de la relatividad*. Madrid: Alianza Editorial, 1985.
- TURTON, Richard. *El punto cuántico: la microelectrónica del futuro*. Madrid: Alianza Editorial, 1999.
- DELGADO BARRIOS, Gerardo. *Revista española de física*. Vol. 18, nº 4 (2004), pág. 1-2.

